©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie.

(Aus dem deutschen physiologischen Institute zu Prag.)

Zwölfte Mittheilung.

Über Veränderungen des elektromotorischen Verhaltens der Muskeln in Folge elektrischer Reizung.

Nach Untersuchungen von Dr. Ewald Hering und Dr. Wilhelm Biedermann.

Mitgetheilt von

Dr. Ewald Hering,

Professor der Physiologie an der deutschen Universität zu Prag.

Einleitendes.

Die wesentlichsten der im Folgenden mitgetheilten Thatsachen sind von mir schon vor längerer Zeit aus Anlass theoretischer Erwägungen über die Natur der elektrischen Reizung aufgefunden, jedoch erst im Winter 1881/82 unter Assistenz des Herrn Dr. Biedermann systematisch untersucht worden. Durch dieselben wurde ein so grosses Feld für weitere Untersuchungen eröffnet, dass ich mir vornahm, dasselbe mit verbesserten Hilfsmitteln zum Gegenstande eines ausgedehnten Studiums zu machen. So wäre eine Veröffentlichung wohl noch länger unterblieben, wenn nicht die Abhandlung du Bois-Reymond's „über secundär-elektromotrische Erscheinungen an Muskeln, Nerven und elektrischen Organen“[1] dazu aufgefordert hätte, wenigstens die wesentlichsten der gefundenen neuen Thatsachen zu veröffentlichen, weil sie den Schlüssel zum Verständniss der von du Bois-Reymond beschriebenen Erscheinungen bilden.

---

[1] Sitzungsbericht der Berliner Akademie, physikalisch-mathematische Classe, vom 5. April 1883.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zuvor aber schien es nöthig, das bezügliche Gebiet noch einmal einer experimentellen Durchsicht mit besseren Hilfsmitteln zu unterwerfen. Meine, in diesem Jahre durch anderweite Berufsgeschäfte sehr beschränkte Zeit hätte mir jedoch nicht erlaubt, dies zu thun, wenn ich nicht in Herrn Dr. Biedermann einen erfahrenen Mitarbeiter bei diesen zum Theile sehr zeitraubenden Untersuchungen gefunden hätte. Nur so wurde es möglich, in verhältnissmässig kurzer Zeit nicht nur das schon früher Gefundene nochmals mit schärferen Methoden zu prüfen sondern dasselbe auch durch einige neue Beobachtungen zu ergänzen.

Dank den unermüdlichen Bemühungen du Bois-Reymond's sind wir gegenwärtig im Besitze von Methoden zur Untersuchung der thierischen Elektricität, welche uns ermöglichen, mit einem verhältnissmässig geringen Aufwand von Zeit und Arbeit zu sicheren Ergebnissen zu gelangen und so Früchte von einem Acker zu ärnten, den die langjährige angestrengte Arbeit dieses Forschers uns urbar gemacht hat. In diesem Sinne sind die für die Physiologie der Muskeln und Nerven wichtigen Ergebnisse unserer Untersuchungen zum grossen Theile den älteren Vorarbeiten du Bois-Reymonds zu danken, so sehr sich auch im Ubrigen unsere Auffassung der hier vorliegenden Probleme und die Art, sie in Angriff zu nehmen, von der du Bois-Reymond's unterscheidet.

Man mag über die Entstehung des Muskelstromes denken, wie man will, jedenfalls muss man zugeben, dass derselbe seinen letzten Grund in den chemischen Processen hat, welche in der lebendigen Muskelsubstanz ablaufen. Auch du Bois-Reymond hat die elektromotorischen Molecüle, die er zur Erklärung des Muskelstromes annahm, später als in bestimmter Weise orientirte Heerde einer lebhaften chemischen Thätigkeit näher definirt.

Es dürfte ferner wohl die Mehrzahl der Physiologen heute darin übereinstimmen, dass nach aussen ableitbare, also überhaupt nachweisbare Ströme am Muskel nur auftreten, insoweit das Gleichmass der chemischen Processe seiner lebendigen Substanz eine Störung derart erfahren hat, dass dieselben nicht mehr in allen Theilen der Faser nach Art und Mass dieselben sind. Es mag sein, dass auch in den noch unversehrt mit dem Organismus

verbundenen Muskeln ein solches Gleichmass nicht absolut vorhanden ist; jedenfalls aber dürfen wir es an einem ausgeschnittenen Muskel nicht erwarten. Wenn wir nun sehen, dass an einem frisch präparirten Froschmuskel die ableitbaren Ströme in dem Masse unbedeutender, beziehungsweise untermerklich sind, als wir den Muskel schonend behandelt haben; wenn wir ferner sehen, dass schon minimale chemische oder mechanische Eingriffe genügen, um einen Strom in vorausbestimmter Richtung hervortreten zu lassen, und dass mit der Stärke des wirksamen Einflusses innerhalb gewisser Grenzen auch die Stärke des ableitbaren Stromes wächst: so werden wir mit L. Herrmann darin übereinstimmen müssen, dass eine partielle Alterirung der Muskelfaser die allgemeine Bedingung für das Auftreten ableitbarer Muskelströme ist.

Dies ist im Grunde nur ein allgemeiner Ausdruck für Thatsächliches, und bis hieher muss, so meine ich, Jeder der Auffassung Herrmann's beistimmen. Es soll hierbei unter Alterirung eben nur verstanden werden, dass die chemische Thätigkeit in einem Theile der Muskelfaser irgendwie nach Mass oder Art verschieden ist von der im anderen Theile.

Wenn nun ein, die Muskelfaser durchfliessender elektrischer Reizstrom seine Angriffspunkte auf die contractile Substanz nur an der Ein- und Austrittstelle hat, so wäre eine Alterirung der chemischen Thätigkeit dieser Substanz zunächst an diesen Stellen zu erwarten und zwar am Orte des Eintrittes eine andersartige als am Orte des Austrittes. Diese Alterirung aber würde sich wahrscheinlich auch durch ein verändertes Verhalten in elektromotorischer Beziehung verrathen, wenn das eine oder andere alterirte Faserende mit einer Stelle der im Übrigen unverändert gebliebenen Faser ableitend verbunden würde.

Vermöchte dagegen der Strom die ganze durchlaufene Faserstrecke in gleicher Weise zu alteriren, oder fände er hier wenigstens, etwa entsprechend der Zahl der Querstreifen der Faser, zahlreiche dicht hintereinander gelegene Angriffspunkte, so wäre entweder gar keine oder eine solche Aenderung des elektrischen Verhaltens zu gewärtigen, welche etwa mit der von du Bois-Reymond an porösen feuchten Leitern untersuchten „inneren Polarisation“ vergleichbar wäre.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zur Entscheidung der Frage gehörte selbstverständlich ein parallelfasriger Muskel, der möglichst wenige in seinem Verlaufe endigende Fasern und also insbesondere keine inscriptio tendinea hat. Denn als anodische oder kathodische Stelle ist, wie früher ausführlich erörtert wurde [1], jede Stelle im Muskel anzusehen, wo der Strom in die contractile Substanz einer Muskelfaser ein- oder aus derselben austritt. Es gilt also, einen Muskel zu wählen, an welchem bei Längsdurchströmung alle anodischen und alle kathodischen Stellen ausschliesslich an den Enden des Muskels liegen. Dieser Forderung lässt sich nicht ganz genügen, denn dazu würde gehören, dass keine Faser im Verlaufe des Muskels entspringt oder endet, und dass sämmtliche Fasern genau parallel der Stromrichtung verlaufen. Sehr angenähert aber entspricht diesem Ideale der M. sartorius des Frosches, wenn er sorgfältig und schonend präparirt und genügend gespannt ist, und desshalb wurde dieser Muskel gewählt, um so mehr, als die Art seiner Reaction auf elektrische Reizströme uns aus langer Erfahrung genauer bekannt war.

Der stets curarisirte Muskel wurde durch Festklemmen der Tibia einerseits, des Beckenknochens anderseits fixirt und mässig angespannt. Zwischen je einer Klemme und dem entsprechenden Muskelende wurde die Spitze des kegelförmigen Thonpfropfes einer unpolarisirbaren Röhrenelektrode dem Knochen angelegt, durch welche der Reizstrom zugeleitet wurde. Diese Elektroden mögen die Reizelektroden heissen.

Zur Ableitung des Muskelstromes dienten zwei ebensolche Elektroden, welche je nach Umständen entweder beide an die Oberfläche des Muskels, oder aber so angelegt wurden, dass nur die eine an eine Stelle dieser Oberfläche, die andere aber entweder am unteren Sehnenende des Muskels oder dicht an seiner Insertion am Beckenknochen lag. Letzterenfalls befand sich also ein „natürlicher Querschnitt" des Muskels im Bussolkreise, wie wir mit du Bois-Reymond den Muskelstromkreis nennen wollen. Die letzterwähnten Electroden mögen entsprechend die Bussolelektroden heissen. Die an der Längsoberfläche des Muskels liegende

[1] Diese Sitzungsberichte, III. Abtheilung LXXIX. Bd. 1879, S. 243.

Elektrode liessen wir meistens in einen um den Muskel geschlungenen feuchten Faden auslaufen, um Verschiebungen des Muskels an der Elektrode bei den schwachen Bewegungen unschädlich zu machen, welche selbst am gespannten Muskel bei Reizung mit stärkeren Strömen unvermeidlich sind.

Eine Pohl'sche Doppelwippe, wie sie du Bois-Reymond zur Untersuchung von Polarisationsströmen benützte, gestattete abwechselnd den Reizkreis an zwei Stellen zu unterbrechen und den Bussolkreis an zwei Stellen zu schliessen, und umgekehrt.

Diejenige Wendung der Wippe, bei welcher der Reizkreis geöffnet und der Bussolkreis geschlossen wurde, erfolgte bei den neueren Versuchen nicht mehr mit blosser Hand, sondern durch Auslösung eines Gewichtes, so dass die Zeit zwischen Öffnung des Reizkreises und Schliessung des Bussolkreises, die Übertragungszeit nach du Bois-Reymond, immer dieselbe blieb, solange der Stand des Quecksilbers in den Näpfchen der Wippe unverändert war. Diese Übertragungszeit lag zwischen 0,026″ u. 0,034″. Es erwies sich in der Folge als für die Mehrzahl der Versuche ganz unwesentlich, ob diese Übertragungszeit etwas kürzer oder länger war.

Für strenge Isolirung des Reizkreises vom Bussolkreise im Bereiche der Wippe war Sorge getragen. Der Lauf der Drähte des Reizkreises war ein solcher, dass selbst die stärksten Ströme keine Fernwirkung auf den Magneten der Bussole äusserten, was ebenso wie alle Isolirungen durch besondere Controlversuche festgestellt wurde.

Handelte es sich um Reizströme von sehr kurzer Dauer, so wurde ein hierzu eigens construirtes Pendelrheotom benützt, welches zuerst den Reizstrom an zwei Stellen zugleich schloss, nach sehr kurzer, am Apparate selbst ablesbarer Schliessungsdauer wieder öffnete und endlich nach einer ebenfalls äusserst kurzen und wieder ablesbaren Übertragungszeit den Bussolkreis an zwei Stellen zugleich schloss.

Sollte mit Inductionsströmen gereizt werden, so wurde zuerst lediglich der Bussolkreis geschlossen, bei offenem Kreise der secundären Spirale, d. i. hier des Reizkreises, der Muskelstrom gemessen oder compensirt und hierauf der Bussolkreis wieder geöffnet. Das zu diesem Zwecke etwas abgeänderte Pendelrheotom besorgte

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

nun rasch hintereinander während einer Pendelschwingung erstens die Schliessung des Kreises der primären, zweitens der secundären Spirale, drittens die Öffnung des Kreises der primären, viertens der secundären Spirale und fünftens nach ablesbarer Übertragungszeit die Schliessung des Bussolkreises an zwei Stellen zugleich. Ort und Stellung des Inductionsapparates war so gewählt, dass durch die Ströme desselben keinerlei Störung des Magneten der Bussole bedingt wurde.

Durch einen runden Compensator konnte der Muskelstrom compensirt werden. Die Constanz des hiebei benützten Daniell'schen Elementes während der Versuchszeit wurde controlirt. Zur Abstufung der Reizströme diente du Bois-Reymond's Rheochord. Die Unterbrechung des Reizstromes durch Wippe oder Pendelrheotom erfolgte zwischen Rheochord und Muskel. In den Reizkreis sowohl als in den Bussolkreis war überdies ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet.

Als Mass der Muskelströme diente im allgemeinen die Ablenkung des aperiodisch schwingenden Magneten einer Wiedemann'schen Bussole; wo es sich aber um relativ sehr starke Ströme handelte, die zur Compensation nöthige Einstellung des Compensators. Die Empfindlichkeit der Bussole war so geregelt, dass der N. ischiadicus eines grösseren Frosches, mit seinem unteren Querschnitt und einer 1 Ctm. davon entfernten Stelle des Nerven auf die oben erwähnten Röhrenelektroden gelegt, eine Ablenkung von 60—70$^{sc.}$ gab.

Das allgemeine Ergebniss der in dieser Weise angestellten Versuche ist:

1. Nach der Durchströmung des Muskels mit Ketten- oder Inductionsströmen zeigt der Muskel ein verändertes elektromotorisches Verhalten.

2. Der wesentliche Sitz der durch den Reizstrom gesetzten Veränderungen sind diejenigen Stellen der contractilen Substanz, an welchen der Strom ein- oder austritt.

3. Eine innere Polarisation des Muskels im Sinne du Bois-Reymond's ist nicht nachweisbar, weder eine positive noch eine negative.

Hat man eine Bussolelektrode an die untere Sehne des von den Knochen her durchströmten Muskels oder an den Beckenknochen dicht an der oberen Muskelinsertion, die andere im Verlaufe des Muskels angelegt, befindet sich also ein natürlicher Querschnitt des Muskels im Bussolkreise, und hat man den bezüglichen Muskelstrom vor der Durchströmung gemessen, so zeigt sich derselbe nach der Öffnung des Reizstromes wesentlich verändert und je nach der Richtung, Stärke und Dauer des Reizstromes und der Stärke und Richtung des anfänglichen Muskelstromes in gesetzmässiger Weise vermehrt, vermindert, ganz verschwunden oder umgekehrt. Hat man den Muskelstrom zuvor compensirt, so erhält man, den positiven oder negativen Zuwüchsen des Muskelstromes entsprechende „Polarisationsströme", welche positiv oder negativ, das heisst dem Reizstrome gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein können; befindet sich derjenige natürliche Querschnitt im Bussolkreise, durch welchen der Reizstrom eintrat, so ergeben sich am frischen normalen Muskel je nach Stärke und Dauer des Reizstromes nach Öffnung desselben in gesetzmässiger Weise bald negative bald positive Polarisationsströme; liegt dagegen die Austrittstelle des Reizstromes im Bussolkreise, so sind die Polarisationsströme stets negativ.

Da diese Polarisationsströme oder secundär-elektromotorischen Erscheinungen wie gesagt ihre wesentliche Quelle an den anodischen und kathodischen Stellen der Muskelsubstanz haben, so unterscheide ich eine anodische und kathodische Polarisation.

Im Folgenden will ich nun auf Grund unseres bereits umfangreichen Versuchsjournals dasjenige hervorheben, was mir vorerst als das Wesentlichste erscheint. Manches andere, insbesondere auch das, was noch der Ergänzung oder weiteren Prüfung bedarf, soll später ausführlich mitgetheilt werden. Schon das bisher Sichergestellte erschliesst ein weites Gebiet für eingehende Untersuchungen über die inneren Vorgänge im Muskel und Nerven während und nach seiner Erregung durch den elektrischen Strom.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die anodische Polarisation.

Die eine Bussolelectrode berühre das Sehnenende des M. sartorius, die andere mittels Fadenschlinge die Muskelmitte. Der schwache Muskelstrom, welcher bei dieser Anordnung meist abterminal, in seltenen Fällen aber auch atterminal ist, sei compensirt. Schickt man jetzt sehr schwache aufsteigende Ströme mittels der an den Knochen liegenden Reizelektroden durch den Muskel, wobei also die Eintrittspunkte des Stromes oder die anodischen Stellen am unteren Muskelende liegen, so zeigt sich, falls der Strom nicht allzu schwach oder die Schliessungszeit nicht allzu kurz war, nach Öffnung des Reizstromes, dass das untere Muskelende relativ positiver geworden ist, das heisst der Magnet gibt einen Ausschlag im Sinne eines im Muskel atterminal gerichteten Stromes, und zeigt also einen negativen, dem Reizstrom entgegensetzten „Polarisationsstrom" an.

Hatte man den Muskelstrom vor der Reizung gemessen, aber nicht compensirt, und misst ihn jetzt wieder, so zeigt er sich entsprechend vermindert, wenn er zuvor abterminal, vermehrt wenn er zuvor atterminal war. War der Muskel zufällig ganz stromlos, so zeigt er jetzt einen atterminalen Strom.

Macht man den analogen Versuch am oberen, viel dickeren Muskelende mit einem absteigenden Strom, wobei man die eine Bussolelektrode an die Beckeninsertion, die andere wieder an die Mitte des Muskels anlegt, so bedarf man wegen des viel grösseren Muskelquerschnittes an der Eintrittstelle des Stromes einen entsprechend stärkeren Reizstrom, um einen gleich grossen negativen Polarisationsstrom zu erhalten, wie am unteren Ende.

Wir haben, obwohl sonst das obere Muskelende vorzuziehen wäre, doch meist das untere zu unseren Versuchen benützt, weil es sehr schwer ist, das erstere ohne wesentliche Alteration zu präpariren. Die benachbarten Muskelreste wirken stark reizend auf das obere Muskelende, und dasselbe zeigt daher oft einen Wulst, welcher durch locale Dauercontraction entsteht und relativ starke Negativität des oberen Muskelendes bedingt. Der Muskelsaft ist bekanntlich ein starkes Reizmittel für den Muskel.

Die beschriebenen Veränderungen des elektromotorischen Verhaltens des Muskels in Folge der Durchströmung sind lediglich durch eine Veränderung in der Gegend der anodischen Stellen

des Muskels bedingt, das heisst also hier der Gegend des natürlichen Querschnittes. Denn legt man beide Bussolelektroden mit demselben gegenseitigen Abstande an der Längsoberfläche des Muskels an, ohne jedoch dem einen oder anderen Muskelende zu nahe zu kommen, und schickt denselben oder sogar einen wesentlich stärkeren Strom durch den Muskel, so erhält man keinerlei Polarisationserscheinung (s. u. S. 432 ff.). Die unerlässliche Bedingung der oben beschriebenen Erscheinung ist, dass sich die Eintrittstellen des Reizstromes im Bussolkreise befinden.

Die Folge der Durchströmung ist also ein relatives Positivwerden des natürlichen Querschnittes oder der anodischen Gegend in Beziehung auf die unverändert gebliebene Muskelmitte. Diese Veränderung klingt erst schneller, dann langsam wieder ab, ist aber immerhin meist ziemlich dauerhaft und erhält sich oft viele Minuten lang, wenn sie irgend erheblich war. Man ist daher auf diese Weise im Stande, einen schwachen abterminalen Muskelstrom ganz zum Verschwinden zu bringen, beziehungsweise einen atterminalen an seine Stelle treten zu lassen.

Wenn ein aufsteigender Reizstrom wegen zu geringer Stärke bei kurzer Schliessungszeit keine Wirkung hat, so braucht man nur letztere zu vergrössern. Etwas stärkere Ströme geben schon bei kürzerer Schliessungszeit dieselbe Wirkung, wie schwächere bei längerer Schliessung.

Ich benützte zur Reizung gewöhnlich zwei Daniell'sche Elemente und wählte grössere Frösche zum Versuche. Schon wenn der Schlitten des Rheochordes um 1 Ctm. abgeschoben war, erhielt ich beispielsweise bei 10 Sec. Schliessungszeit einen geringen negativen Polarisationsstrom ($5^{sc.}$). Bei einem Schlittenabstande von 50 Ctm. gaben Schliessungen bis zu 2 Sec. ebenfalls meist noch negative Polarisation. Aber bei etwas längerer Schliessungszeit zeigte sich meist schon die sogleich zu besprechende positive anodische Polarisation.

Bei alledem ist vorausgesetzt, dass der Muskel frisch und insbesondere noch nicht von stärkeren Strömen durchflossen war. Ist der Muskel durch zuvor hindurchgeschickte Ströme schon alterirt, insbesondere durch stärkere absteigende Ströme, bei welchen also die jetzt anodische Muskelstelle kathodisch war, so

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

geben selbst viel stärkere Ströme noch die beschriebene negative Polarisation, und man kann hierbei auch verhältnissmässig stärkere negative anodische Polarisation erhalten, als am frischen Muskel.

An letzterem erhält man, wie gesagt, schon nach etwas stärkeren Strömen die positive anodische Polarisation. So gab im ebenerwähnten Falle der im Muskel aufsteigende Strom von 2 Daniell Rh. W. 50 nur bei kurzer Schliessungszeit negative, bei 3 Sec. Schliessungszeit aber schon positive anodische Polarisation. Dazwischen liegt dann eine Schliessungsdauer, wo die anodische Polarisation entweder = 0, oder aber wie gewöhnlich doppelsinnig ist. Letzterenfalls gibt der Magnet zuerst einen Ausschlag im einen Sinne, kehrt dann um, geht durch den Nullpunkt hindurch und gibt nun einen entgegengesetzten Ausschlag; oder er verharrt wohl auch nach der Öffnung eine Weile auf dem Nullpunkte, um sich erst dann in Bewegung zu setzen. Dieselbe positive Polarisation, die man bei einem Strome von etwas grösserer Stärke schon nach kürzerer Schlusszeit erhält, tritt bei etwas schwächeren Strömen erst nach längerem Schlusse auf. Je stärkere Ströme man nun, immer wieder an frischen Muskeln, anwendet, desto stärker wird die positive Polarisation, übertrifft sehr bald ganz gewaltig selbst die stärkste negative anodische Polarisation, welche man bei gleicher Schliessungsdauer durch die schwachen Ströme erhalten kann. Bei gewisser Stärke des Stromes ergibt sich selbst bei kürzest möglicher Schliessungszeit sofort die positive Polarisation. Der ganze Strom von 7 Daniells gab z. B. bei einer Schliessungszeit von nur 0,01 oder 0,014 Sec. und Übertragungszeiten von 0,01 Sec. bis 0,1 Sec. beiläufig gleichstarke Ablenkungen des Magneten im Sinne einer positiven anodischen Polarisation des unteren Muskelendes wie der aus dem Rheochord bei Anwendung von 2 Daniells und 50 Ctm. Widerstand abgeleitete Zweigstrom bei einer Schliessungszeit von beiläufig 5 Sec. Unter diesen Umständen waren die positiven Polarisationsströme immerhin noch schwach (etwa 15 bis 120 sec.). Sie werden aber sehr stark, sobald man die Reizströme verstärkt und die Schliessungszeit vergrössert, ja sie können bedeutend stärker werden als der Muskelstrom, den man von demselben Muskel erhält, wenn man das eben zum Versuche benützte

Muskelende abtödtet und die Bussolelektroden in ganz derselben Weise wie beim Polarisationsversuche anlegt. Ich beobachtete dies beispielsweise am unteren Muskelende nach Anwendung eines durch 3 Daniells erzeugten aufsteigenden Reizstromes und einer Schliessungszeit von 10 Minuten.

Vom oberen Muskelende gilt in Bezug auf die positive anodische Polarisation das Analoge von dem, was betreffs der negativen anodischen Polarisation gesagt wurde.

Inductionsströme gaben uns bisher nur positive anodische Polarisation und verhielten sich also ganz analog den starken Strömen bei kurzer Schliessungsdauer. Der stärkste positive anodische Polarisationsstrom, den wir durch einen Öffnungsinductionsschlag erhielten, betrug 155 sc. Dabei waren die Rollen des Schlitten-Inductionsapparats (5000 Windungen der II. Spirale) übereinander geschoben und der primäre Inductionsstrom durch 4 Daniells erzeugt.

Nach langer Schliessung starker Ströme kann man statt der Ausschläge im Sinne einer positiven Polarisation unter Umständen abermals doppelsinnige Ausschläge erhalten, wie wir dies nicht selten an allerdings schon durch wiederholte Reizungen veränderten Muskeln und bei einer, von der oben beschriebenen abweichenden Lage der die Längsoberfläche des Muskels berührenden Elektrode sahen. Dieselbe befand sich nämlich nicht in der Mitte des Muskels, sondern berührte denselben beiläufig an der Grenze zwischen dem ersten und zweiten untern Viertel. (s. u. S. 429).

Die positive anodische Polarisation als Ausdruck der Öffnungserregung.

Die positive anodische Polarisation nach Anwendung stärkerer Reizströme mit längerer Schliessungszeit hat für denjenigen, der mit dem Verhalten des Muskels bei Reizung durch Kettenströme vertraut ist, nichts Ueberraschendes. Ich selbst habe sie im voraus erwartet, noch ehe ich den bezüglichen Versuch angestellt hatte. Denn der Muskel gibt unter den genannten Umständen nach der Öffnung nicht eine blosse Öffnungszuckung, sondern an diese schliesst sich eine, auf der anodischen Seite des Muskels localisirte Dauercontraction an, deren Grösse, Ausbreitung und

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Dauer von der Stärke und Dauer des angewendeten Reizstromes abhängt. Dieselbe klingt allmählich ab, indem sie sich mehr und mehr auf die anodische Stelle des Muskels zurückzieht. Da aber, wie L. Herrmann gezeigt hat, die erregte Muskelsubstanz sich in Bezug auf die ruhende negativ verhält, so muss, wenn eine Bussolelektrode an das Sehnenende, die andere an die Mitte des Muskels gelegt ist, nach Anwendung aufsteigender Ströme während der ganzen Dauer der Öffnungserregung ein abterminaler, also dem Reizstrom gleichgerichteter Actionsstrom den Magneten ablenken, sofern die Öffnungserregung nicht bis über die Mitte des Muskels hinausgreifen und diese etwa ebenso stark negativ machen würde, wie die anodische Gegend selbst.

Es liegt nun nahe, auch die bei Anwendung schwächerer oder kurz dauernder starker Ströme auftretende positive anodische Polarisation als den Ausdruck einer, einige Zeit andauernden Öffnungserregung anzusehen, obwohl es dabei an einem frei beweglichen Muskel zu einer äusserlich sichtbaren Öffnungsdauercontraction oder sogar nicht einmal zu einer merklichen Öffnungszuckung kommen würde. Denn die Dauercontraction macht sich in ihren schwächeren Graden ohnedies nur dadurch an der Zuckungscurve bemerklich, dass die letztere nicht sofort, sondern nur allmählich wieder bis zur Abcisse zurückgeht. Wenn diese Contraction sich nur auf einen, der Eintrittstelle des Stromes angrenzenden sehr kleinen Theil des Muskels beschränkt, so kann sie an der Zuckungscurve überhaupt nicht merklich werden, selbst wenn, was ja meist nicht der Fall ist, der Schreibapparat die denkbar grösste Empfindlichkeit besitzt. Tritt nicht einmal eine merkliche Öffnungszuckung ein, so ist dies noch kein Beweis dafür, dass sie nicht in schwachem Masse vorhanden war. Sind die Widerstände, welche der Verkürzung entgegenstehen, irgend zu gross, so verzeichnet sich die gleichwohl stattgefundene Action des Muskels nicht. Man befestige einen Sartorius, an welchem man ein Stück Becken und die Hälfte der Tibia gelassen hat, durch Fixirung des ersteren: er wird dann vertikal herabhängen und das anhängende Stück der Tibia ihn mässig belasten, um so mässiger, wenn letzteres bis an die Sehne des Sartorius in Kochsalzlösung ($0.6^0/_{00}$) taucht. In diese Lösung tauche man überdies eine unpolarisirbare Elektrode und eine zweite lege man an den

Beckenknochen. Durchströmt man jetzt den Muskel aufsteigend, so erhält man sichtbare Öffnungszuckungen schon bei sehr viel schwächern Strömen, als wenn der Muskel mit irgend welchem, wenn auch noch so empfindlichen Schreibapparat in Verbindung ist. Auf diese Weise erhielten wir mit denselben Elektroden, die wir zu den Polarisationsversuchen benützten, und bei Strömen von 2 Daniells mit nur 50 Ctm. Rh. W., bisweilen nach einer Schliessungsdauer von nur 2 Sec. bereits erhebliche Öffnungszuckung. Selbstverständlich musste hierbei das untere Muskelende sehr schonend präparirt sein.

Endlich könnte ja vielleicht die Öffnungserregung so schwach sein, dass sie auf die unmittelbare Nähe der anodischen Muskelstellen beschränkt bleibt und sich gar nicht über den Muskel fortzupflanzen vermag. Dann wird sie sich zwar bei hinreichender Dauer durch einen schwachen Actionsstrom, nicht aber durch eine Verkürzung des Muskels verrathen können. Hiernach wäre die Bussole geeignet, uns die Öffnungserregung des Muskels auch dann zu zeigen, wenn dieselbe mit dem Auge gar nicht, vielleicht sogar nicht einmal mikroskopisch wahrnehmbar ist. Bei Reizung mit sehr kurzdauernden Kettenströmen oder Inductionsströmen lässt sich wegen der gleichzeitigen Schliessungszuckung eine minimale Öffnungserregung vorerst überhaupt nicht dem Auge bemerkbar machen.

So steht denn bis jetzt nichts der Annahme entgegen, dass die positive anodische Polarisation ihren Grund in der Öffnungserregung der Muskelsubstanz hat, welche in der anodischen Gegend des Muskels stattfindet.

Zur weiteren Stütze für diese Annahme liesse sich unter Anderem noch Folgendes anführen: Wir hatten bei der oben beschriebenen Anwendung der Bussolelektroden einen Strom von 6 Daniells aufsteigend durch den Muskel geschickt, wobei die Schliessungszeit sowohl als auch die Übertragungszeit 0,014 Sec. betrug. Der Muskel gab hierbei keinen merklichen anodischen Polarisationsstrom. Hierauf wurde unter ganz denselben Bedingungen derselbe Muskel mit den Strom von 7 Daniells gereizt, was eine positive Polarisation $= 51^{sc.}$ ergab. Als bald nachher, sobald der Muskelstrom wieder hinreichend constant geworden war, der soeben unwirksam gewesene Strom von 6 Daniells abermals in

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ganz derselben Weise durch der Muskel geschickt wurde, so erfolgte nun ein positiver Polarisationsstrom = 28sc. Ein anderes Mal hatte bei derselben Schliessungs- und Übertragungszeit von 0,014 Sec. und bei derselben Anordnung der Elektroden ein aufsteigender Strom von 4 Daniells keine merkliche Polarisation, ein kurz nachher ganz ebenso angewandter Strom von 6 Daniells aber eine positive Polarisation = 76sc. gegeben. Als wir hierauf wieder den Strom von 4 Daniells in der früheren Weise benützten, ergab sich eine positive Polarisation = 17sc. abermalige Reizung mit dem Strom von 6 Daniells gab positive Polarisation = 63sc.

Da die Stärke der Reizströme nicht besonders gemessen wurde, so könnte man vermuthen, dass dieselbe sich von einem Versuche zum andern geändert hätte. Dies war jedoch wegen der Regelmässigkeit, mit welcher die Erscheinung auftrat, nicht wahrscheinlich. Mehr hatte die Vermuthung für sich, dass der frische Muskel nach einer vorausgegangenen Durchströmung mit stärkerem gleichgerichteten Strome eher auf die Öffnung des nachfolgenden schwachen anspreche, wie dies ja betreffs der Öffnungszuckung zu erwarten wäre.[1] Ich forderte desshalb Herrn Dr. Jaksch, zweiten Assistenten des Institutes, auf, analoge Versuche mit graphischer Verzeichnung der Öffnungszuckung zu machen. Er fand auch, dass ein Strom, der bei gemessener Schliessungszeit am frischen Muskel eine nur eben merkliche Öffnungszuckung gab, auf ganz denselben Strom und bei derselben Schliessungszeit eine sehr erhebliche Öffnungszuckung zeigte, wenn zwischendurch ein stärkerer Strom ebensolange durch den Muskel geschlossen worden war, der seinerseits eine noch grössere Öffnungszuckung gegeben hatte. So führt die Untersuchung der Öffnungs-Actionsströme zu ganz analogen Ergebnissen wie die Untersuchung der Öffnungszuckungen des Muskels.

Hat man einen starken Strom längere Zeit durch den Muskel geschickt, so erhält man nach der Öffnung eine langdauernde Öffnungscontraction, welche sich günstigenfalls über die ganze der Anode anliegende Hälfte des Muskels erstreckt. Liegt nun die eine Bussolelektrode dem Sehnenende an, die andere

[1] Rosenthal, Zeitschr. f. rat. Med. III, 3. 1858, S. 132. und Wundt, Archiv f. physiol. Heilkunde 1858, S. 354.

beiläufig an der Grenze zwischen unterstem und zweitem Viertel des Muskels, und war der Reizstrom aufsteigend, so können beide Stellen des Muskels, an welchen die Bussolelektroden liegen, nach der Öffnung des Reizstromes in dauernder Erregung sein. Wäre nun die Erregung an beiden Stellen annähernd gleich stark und desshalb in elektromotorischer Beziehung gleichwerthig, so würde jetzt kein Muskelstrom durch die Elektroden gehen können und ein früher bestandener z. B. abterminaler Muskelstrom verschwunden sein. Hätte man diesen zuvor bestandenen Muskelstrom vor der Reizung compensirt, so würde der Magnet nach Öffnung des Reizstromes keinen positiven, sondern vielmehr einen negativen Polarisationsstrom anzeigen müssen, weil jetzt dem Compensationsstrom kein Muskelstrom mehr entgegenstünde und ersterer den Magnet in entgegengesetzter Richtung ablenken müsste. Sehr bald aber nach der Öffnung zieht sich die Öffnungsdauererregung bekanntlich mehr und mehr nach der Anode zurück und die Erregung am Orte der oberen Bussolelektrode nimmt entsprechend ab, während sie in der Nähe des anodischen Muskelendes noch fortbesteht. Dies bedingt wieder einen allmählich zunehmenden abterminalen Actionsstrom. Der durch den Compensationsstrom abgelenkte Magnet muss nun entsprechend wieder nach dem Nullpunkte zurückgehen, denselben überschreiten und im Sinne eines positiven Polarisationsstromes ausschlagen in dem Masse, als die elektrische Differenz der beiden abgeleiteten Stellen durch das allmähliche Verschwinden der Erregung an der oberen Bussolelektrode bei Fortbestand derselben an der unteren Elektrode grösser und grösser wird, bis schliesslich auch die Erregung des anodischen Muskelendes selbst wieder verschwindet.

Hieraus erklärt sich vielleicht, dass wir nach längerer Reizung mit starkem aufsteigenden Strom am unteren Muskelende bei der beschriebenen Lagerung der Bussolelektroden und nach Compensation des Muskelstromes bisweilen Folgendes beobachteten:

1. Nach der Öffnung des Reizstromes trat ein schwacher negativer Polarisationsstrom auf, der bald wieder verschwand und einem langsam und sehr lange zunehmenden positiven wich.

2. Nach der Öffnung stand der Magnet eine Weile still, um sich sodann im Sinne einer positiven Polarisation sehr langsam und auf längere Zeit in Bewegung zu setzen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

3. Der Magnet ging nach der Öffnung im Sinne einer positiven Polarisation vorwärts, blieb dann einige Zeit stehen, um schliesslich abermals im Sinne einer positiven Polarisation langsam weiter zu gehen.

Da jedoch diese Beobachtungen, wie gesagt nicht an frischen, sondern an schon mehrfach durchströmten und dadurch wesentlich alterirten Muskeln gemacht wurden, bedürfen sie noch einer weiteren Controle.

Die kathodische Polarisation.

Die Änderungen des elektromotorischen Verhaltens, welche nach elektrischer Durchströmung am Muskel beobachtet werden, wenn die Austrittstelle des Reizstromes im Bussolkreise liegt, sind verhältnissmässig einfache. Ich setze hierbei wieder voraus, dass die eine Bussolelektrode die Mitte des M. sartorius, die andere aber das untere Sehnenende desselben berührt. Diesenfalls erhält man bei absteigendem, also atterminalem Reizstrome nur abterminale Zuwachsströme. Hat man also den Muskelstrom zuvor gemessen, so erweist er sich nach der Durchströmung vermehrt, wenn er abterminal war; dagegen vermindert, ganz verschwunden, oder umgekehrt, wenn er zuvor atterminal war. War der Muskelstrom zuvor compensirt, so ergibt sich entsprechend ein sogenannter negativer Polarisationsstrom.

Ich habe zwar bisweilen an ganz frischen Muskeln nach der ersten Reizung äusserst schwache Ausschläge des Magneten im Sinne einer positiven kathodischen Polarisation erhalten, aber ich lege hier auf alle Erscheinungen, die nur andeutungsweise auftraten und die wir nicht experimentell in unsere Gewalt bekommen haben, kein Gewicht, da die kleinen Fehlerquellen zahlreich sind, und sich überdies die genannte Erscheinung auch daraus erklären würde, dass Muskelfasern im Verlaufe des Muskels endigen (s. u.).

Bei sehr schwachen Strömen, welche überhaupt erst nach einer Schliessungszeit von mehreren Secunden merkliche Polarisation geben, ist nach unseren bisherigen Erfahrungen die verhältnissmässig geringe negative kathodische Polarisation ihrer Grösse nach nicht erheblich verschieden von der oben beschriebenen negativen anodischen Polarisation, welche man bei demselben Reizstrom und derselben Schliessungszeit am unteren Muskelende erhält. Geht man zu längeren Schliessungszeiten oder

höheren Stromstärken über, so nimmt die negative kathodische Polarisation stetig zu. Vergleicht man dieselbe mit den positiven anodischen Polarisationen, welche man bei derselben Stärke des Reizstromes und derselben Stromdauer ebenfalls am unteren Muskelende erhält, so sind selbstverständlich die letzteren schwächer, so lange es sich noch um jene Stromstärken handelt, bei denen die positive anodische Polarisation eben erst das Übergewicht über die negative anodische Polarisation erhält. Bei weiterer Verstärkung des Reizstromes aber wird am frischen Muskel die positive anodische Polarisation im allgemeinen viel stärker, als die negative kathodische an demselben Muskelende bei der entgegengesetzten Richtung des Reizstromes sein würde. Ist aber das Muskelende bereits ermüdet, insbesondere in Folge atterminaler Reizströme, so kann die positive anodische Polarisation desselben sogar noch schwächer ausfallen, als die negative kathodische. Bei sehr starken Strömen und langer Schliessungsdauer kann die negative kathodische Polarisation so stark werden, wie beiläufig der ebenfalls abterminale Muskelstrom, welcher sich zeigt, wenn man bei unveränderter Lage der Bussolelektroden das untere Ende des Muskels abgetödtet hat.

Z. B. wurde ein M. sartorius von einem Strome von 7 Daniells absteigend 10 Minuten lang durchströmt. Nach der Öffnung zeigte sich ein abterminaler Strom von solcher Stärke, dass der Magnet weit über die Skala abgelenkt wurde und der Strom nur mittels des Compensators gemessen werden konnte. Hierauf wurde das untere Muskelende dicht an der Sehne mittels eines erhitzten Glasstäbchens abgetödtet, gut benetzt, die bezügliche Bussoleletrode wieder an die Sehne angelegt und der Bussolkreis geschlossen. Der Magnet ging selbstverständlich wieder weit über die Skala hinaus, aber die Messung mittels des Compensators ergab sogar einen wesentlich schwächeren Strom als zuvor. Es mag dahingestellt bleiben, ob der negative kathodische Polarisationsstrom wirklich stärker werden kann, als der in gleicher Weise abgeleitete Muskelstrom nach Abtödtung des Muskelendes; jedenfalls steht nach unseren Erfahrungen fest, dass ein maximaler negativer kathodischer Polarisationsstrom gleicher Ordnung ist, wie der stärkste von derselben Stelle abgeleitete Längs-Querschnittstrom. Dies war auch von vornherein so zu erwarten, weil sehr starke Ströme bei längerer Dauer den Muskel an der kathodischen Stelle abtödten.

Inductionsströme gaben ebenfalls nur negative kathodische Polarisation, welche aber wesentlich schwächer war, als die positive anodische Polarisation wie sie von gleich starken Inductions-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

strömen an demselben Muskelende bewirkt wurde. So gab der oben erwähnte starke Inductionsstrom, welcher am unteren Muskelende einen anodischen positiven Polarisationsstrom = 155$^{sc.}$ erzeugt hatte, bei absteigender Richtung einen negativen kathodischen Polarisationsstrom = 60$^{sc.}$. Entsprechend beginnen auch die kathodischen Polarisationswirkungen der Inductionsströme erst bei viel grösserer Intensität derselben als die anodischen.

Dies Alles gilt auch von den starken Kettenströmen bei sehr kleiner Schliessungszeit.

Das obere Muskelende verhält sich bei aufsteigenden Strömen ganz ebenso, wie das untere bei absteigenden, nur sind auch hier wieder, um gleich starke negative kathodische Polarisation bei derselben Schliessungszeit zu erhalten, wie am unteren Ende, viel stärkere Reizströme nöthig.

Das allgemeine Ergebniss ist also, dass mit wachsender Stärke und Dauer des Reizstromes die kathodische Muskelgegend zunehmend negativer im Vergleich mit der Muskelmitte wird.

Die secundär-elektromotorischen Erscheinungen auf der interpolaren Strecke.

Wenn ich die Gesammtheit der Punkte, an denen ein, die Muskelfaser längs durchlaufender Strom in die contractile Substanz derselben eintritt, als physiologische Anode, die Gesammtheit der Punkte, an denen er austritt, als physiologische Kathode auffasse, so lässt sich die ganze zwischenliegende Strecke, welche weder anodische noch kathodische Punkte hat, als interpolare Strecke der Faser bezeichnen, und dieselbe Benennung lässt sich auf einen ganzen parallelfaserigen, längsdurchströmten Muskel anwenden.

Ich habe schon oben erwähnt, warum selbst an einem parallelfaserigen Muskel, wie z. B. dem Sartorius, auch wenn der Strom durch die natürlichen Muskelenden ein- und austritt, doch die anodischen und kathodischen, kurz gesagt die polaren Stellen des Muskels nicht ausschliesslich auf die Muskelenden beschränkt sind. Angenommen, der Sartorius sei so sorgfältig präparirt, dass er nirgends eine Verletzung hat, und es sei gelungen, ihn so vor Schädlichkeiten zu bewahren, dass sich an keiner Stelle seines Verlaufes kleine Wülste durch locale Contraction (analog den

sogenannten idiomuskulären) gebildet haben; er sei ferner geradlinig ausgespannt und zeige nirgends die bekannten Zickzacklinien; seine Oberfläche sei spiegelglatt, so dass nirgends ein anhängender Gewebsrest, ein kleiner Tropfen Flüssigkeit oder dergleichen dem Strome eine kurze, sozusagen extramuskuläre Nebenschliessung gibt, so bleiben doch zwei nicht zu beseitigende Übelstände, nämlich erstens die ungleiche Länge seiner Fasern, welche durch die Verjüngung des Muskels an seinem unteren Theile bedingt ist, und zweitens die hier viel schwerer wiegende Thatsache, dass der Sartorius zuweilen kurze Fasern enthält, welche nicht von seinem oberen Ende bis zur unteren Sehne reichen, sondern im Verlaufe des Muskels endigen, beziehungsweise beginnen. Aeby[1] fand unter 56 Fällen acht Mal kurze Fasern, deren Anzahl zwischen 0,6% und 6% der gesammten Faserzahl schwankte, in einem Falle aber sogar über 16% betrug. Diese kurzen Fasern waren so angeordnet, dass sie zu je zwei gleichsam eine ganze Faser von der Länge des Muskels darstellten.

Es ist nach dem Gesagten ganz unmöglich, polare Stellen im Verlaufe des längsdurchströmten Muskels völlig auszuschliessen, und zwar auch dann nicht, wenn der Muskel gar keine kurzen Fasern hätte. Das untere verjüngte Stück des Muskels ist selbstverständlich, so weit eben noch Muskelfasern an der Sehne endigen, voll von polaren Stellen, und was die übrige Muskelstrecke betrifft, so wird die unvermeidliche Abweichung der Stromfäden vom absoluten Parallelismus mit den Conturen der Muskelfasern polare Stellen bedingen, die sich wenigstens elektromotorisch geltend machen können.

Aber ganz abgesehen von alledem wird ein durch den Muskel geschickter Strom denselben nicht bloss an den polaren Stellen, sondern auch innerhalb der interpolaren Strecke alteriren müssen. Bei starken Strömen liegt das ganz auf der Hand; denn die Schliessung derselben bewirkt, abgesehen von der über den ganzen Muskel ablaufenden Anfangszuckung, eine Dauercontraction, die in unmittelbarer Nähe der kathodischen Stellen am stärksten ist und sich von hier aus in abnehmender Stärke mehr oder minder weit über den Muskel erstreckt. Es ändert nichts am

[1] Zeitschrift f. rat. Med. III. Reihe XIV. Bd. 1862. S. 198.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wesen der Sache, wenn der Muskel ausgespannt ist, denn die Dauererregung ist trotzdem da, auch wenn sie nicht ohne Weiteres bemerkbar ist. Die Folge derselben ist ungleiche Ermüdung an den verschiedenen Theilen der interpolaren Strecke, daher nach der Öffnung des Reizstromes eine Ungleichartigkeit der einzelnen Theile der Strecke zurückbleibt, welche gradweise Verschiedenheiten der inneren chemischen Processe und daher vielleicht auch der elektrischen Werthigkeit bedingt.

Dass die von der anodischen Stelle ausgehende Öffnungsdauererregung die verschiedenen Stellen der interpolaren Strecke in hohem Grade elektromotorisch ungleichartig machen muss, wurde schon oben erörtert.

Wenn wir also untersuchen wollen, ob der längsdurchströmte Muskel auch auf der im obigen Sinne interpolaren Strecke polarisirt wird, und ob auch hier secundär-elektromotorische Erscheinungen auftreten, so ist erstens selbstverständlich, dass wir nicht solche Ströme anwenden dürfen, von denen wir erfahrungsgemäss wissen, dass sie einen erheblichen Theil der interpolaren Strecke durch Schliessungs- oder Öffnungsdauererregung nachhaltig alteriren. Und wenn wir selbst bei schwächeren Strömen kleine Polarisationswirkungen an der genannten Strecke beobachten sollten, so werden wir zunächst an all' die oben erwähnten Anlässe zur Bildung polarer Stellen innerhalb der vermeintlich rein interpolaren Strecke denken müssen.

Bei den bezüglichen Untersuchungen haben wir die beiden Bussolelektroden an der Grenze zwischen dem oberen und mittleren und zwischen dem mittleren und unteren Drittheil des Muskels angelegt, während der Reizstrom nach wie vor durch die Knochen zugeleitet wurde. So überzeugte ich mich sofort, dass eine Polarisation auf der interpolaren Strecke („innere Polarisation" nach du Bois-Reymond) entweder überhaupt gar nicht besteht, oder, wenn sie etwa doch bestehen sollte, im Vergleich zu der anodischen und kathodischen Polarisation so geringfügig wäre, dass sie für die Zwecke unserer Untersuchung vernachlässigt werden dürfte. Ich habe schwächere Ströme mit längerer, starke mit kürzerer Schliessungsdauer in beiden Richtungen angewendet: das Ergebniss war immer dasselbe. Um einige Beispiele zu nennen, so gab ein aufsteigender Strom von 2 Daniells Rh. W. 300 bei 2, 5,

10 Sec. Schliessungszeit gar keinen Polarisationsstrom, obwohl derselbe Reizstrom, als die eine Bussolelektrode an das untere Ende, die andere an die Grenze zwischen unterem und mittlerem Drittheil desselben Muskels angelegt wurde, schon bei 2 Sec. Schliessungszeit einen positiven Polarisationsstrom = 145$^{sc.}$ erzeugte, obwohl ferner, als die eine Bussolelektrode an das obere Muskelende, die andere an die Grenze zwischen oberem und mittlerem Drittheil angelegt war, und derselbe Reizstrom 6 Sec. lang absteigend angewendet wurde, entsprechend der am dicken Muskelende viel geringeren Stromdichte ein negativer Polarisationsstrom von 30$^{sc.}$ auftrat. Ein aufsteigender Strom von 2 Daniells Rh. W. 100 bewirkte auf der interpolaren Strecke bei zunehmenden Schliessungszeiten bis zu 2 Minuten keine merkliche Polarisation, während kurz zuvor, als die eine Elektrode am unteren Ende, die andere in der Mitte des Muskels lag, ein Strom von 2 Daniells Rh. W. 50 eine positive anodische Polarisation von 170$^{sc.}$ gegeben hatte.

Am schlagendsten zeigt sich die Unwirksamkeit des Reizstromes auf der interpolaren Strecke, wenn man gleichzeitig an einem und demselben Muskel drei Bussolelektroden anlegt, z. B. eine an das untere Ende, die zweite zwischen erstem und zweitem Viertel, die dritte an die Mitte des Muskels, und dann unmittelbar nach der Öffnung des Reizstromes abwechselnd die erste und zweite, oder die zweite und dritte Elektrode mit der Bussole verbindet, so dass ersterenfalls das unterste Viertel sammt dem Muskelende, letzterenfalls das zweitnächste Viertel des Muskels im Bussolkreise liegt. Die Compensation der Muskelströme ist hierbei ausgeschlossen und man ist darauf angewiesen, die Stärke und Richtung derselben vor und nach der Durchströmung des Muskels zu vergleichen.

Bei solcher Anordnung zeigte sich z. B. nach aufsteigender Durchströmung während 1, 2, 5, 10 Sec. mit dem ganzen Strome von 2 Daniells der Muskelstrom des zweituntersten Muskelviertels ganz unverändert, während der abterminale Muskelstrom des untersten Viertels statt des ursprünglichen Ausschlags von 50$^{sc.}$ nunmehr Ausschläge von beziehungsweise 160, 160, 225 und 230$^{sc.}$ bewirkte, obwohl nach jeder Öffnung zuerst der Muskelstrom des zweiten Viertels und erst dann, nach Ablauf von beiläufig

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

20 Sec. der des untersten Viertels gemessen wurde, daher der letztere wegen des anfänglich raschen Abklingens der positiven Polarisation sich als noch viel stärker erwiesen hätte, wenn er zuerst gemessen worden wäre.

Erst als derselbe Reizstrom 20 Sec. lang aufsteigend durch den Muskel geschickt worden war, ergab der Muskelstrom des zweiten Muskelviertels eine Änderung um $18^{sc.}$ im Sinne einer negativen Polarisation, während der unmittelbar nachher gemessene Muskelstrom des untersten Muskelviertels immer noch eine Zunahme um $260^{sc.}$ im Sinne einer positiven Polarisation darbot.

Sorgt man durch Anlegen kleiner mit Kochsalzlösung ($0{,}6\,^0/_{00}$) getränkter Stückchen von Fliesspapier an die Sehnenenden des Muskels dafür, dass der Reizstrom an seiner Ein- und Austrittstelle beiläufig dieselbe Dichte hat, wie im übrigen Muskel, so wird die anodische und kathodische Polarisation zwar entsprechend schwächer, das wesentliche Ergebniss aber bleibt dasselbe.

Wir haben über die relative Unwirksamkeit absteigender und aufsteigender Reizströme auf der interpolaren Strecke so zahlreiche Versuche immer mit demselben Erfolge angestellt, dass kein Zweifel über dieselbe bestehen kann. Die bei starken Strömen und längerer Schliessungszeit allerdings ganz offenbaren, aber immer relativ geringfügigen Polarisationserscheinungen lassen sich hinreichend aus den oben erörterten Ursachen, beziehungsweise mit aus schwachen Polarisationen an den vom Strome vielfach durchsetzten Bindegewebsfasern, Gefässen, Nerven erklären, und es liegt daher bis jetzt keinerlei genügender Anlass vor, eine innere Polarisation der contractilen Substanz des Muskels im Sinne du Bois-Reymond's anzunehmen. Bestände eine solche wirklich, so wäre sie eben innerhalb der Stromstärken, mit welchen man ein lebendiges Wesen, wie der Muskel ist, behandeln kann, ohne es zu schädigen, gegenüber der anodischen und kathodischen Polarisation so geringfügig, dass sie vorerst vernachlässigt werden könnte.

Dass die Versuche du Bois-Reymond's ihrer ganzen Anordnung nach überhaupt nicht geeignet waren, eine wirkliche innere Polarisation nachzuweisen, geht schon daraus hervor, dass er zwei Muskeln benützte, welche von einer, noch dazu sehr schräg verlaufenden inscriptio tendinea durchsetzt sind, daher

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zwischen beiden Bussolelektroden fast alle Muskelfasern unterbrochen waren. An der Inscription fand also einerseits anodische, anderseits kathodische Polarisation statt, und was du Bois-Reymond beobachtete, war im Wesentlichen nur der Ausdruck der Summe oder Differenz dieser beiden Polarisationen, keineswegs aber die Folge einer eigentlich inneren Polarisation.

Wir haben auch in einigen Fällen die Totalpolarisation des M. sartorius untersucht, indem wir eine Bussolelektrode an das untere Ende, die andere an die obere Insertionsstelle des Muskels legten, während der Reizstrom wieder durch die Knochen zugeleitet wurde. Die dabei erhaltenen Polarisationsströme sind ebenfalls das Ergebniss der Summe oder Differenz der anodischen und kathodischen Polarisation, wobei noch zu bedenken ist, dass derselbe Strom am unteren Muskelende wegen seiner hier viel grösseren Dichte viel stärkere polarisatorische Wirkung hat, als am oberen Ende. Die ungefähr voraus zu berechnenden Ergebnisse dieser Untersuchung sind vorerst ohne besonderes Interesse.

In der folgenden Mittheilung werde ich die Untersuchungen du Bois-Reymond's zum Gegenstande einer ausführlichen Erörterung machen.